

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.038

基于 MCD 的包装检测机器人工作站设计

汪天齐, 李晓泉, 吴星宇, 陈峰, 陈吉兴

(南京工程学院, 江苏 南京 211167)

摘 要:针对人工包装效率低、人工成本过高的问题,提出建立机器人包装工作站的方案来降低工作成本并提高生产效率。根据实际生产要求设计并计算各部件的尺寸参数,通过 UG 对各部件进行建模,装配各部件对工作站布局进行优化。利用 MCD 模块对机器人的运动轨迹进行规划,根据工作站的仿真运行结果调整机器人的运动轨迹。该方案可以有效地发现机器人的运动轨迹问题,减少工作站的运行问题。

关键词:机器人;MCD;包装检测

中图分类号:TP242.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)03-0196-05

Design of Packaging Inspection Robot Workstation Based on MCD

WANG Tianqi, LI Xiaoquan, WU Xingyu, CHEN Feng, CHEN Jixing

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: A robot packaging workstation is proposed aiming at reducing work costs and improving production efficiency in manual packaging. According to actual production requirements, the size parameters of each component are designed and calculated, each component is modled through UG, and each component is assembled to optimize the workstation layout. With the MCD module, the robot's motion trajectory is planned and adjusted based on the simulation results of the workstation. The proposed solution can effectively detect the robot motion trajectory abnormalities and reduce workstation operation troubles.

Keywords: robots; MCD; packaging inspection

0 引言

随着科技不断地发展,制造行业也在不断地向前迈进,其中作为制造业重要组成部分的包装行业也在稳步提升^[1]。中国作为全球第二的包装大国,包装行业拥有巨大的发展前景,目前中国还是大量采用人工包装作为主要的生产模式,这种生产模式既是对人力资源的极大浪费,还会造成生产效率的低下。为了进一步改善这种状况,包装行业需要向半自动化甚至全自动化方向发展。要实现这样的新模式就需要借助计算机、PLC 等技术的支持,机器人就是在这种转型过程中出现并逐渐走向成熟的自动化设备^[2-3]。以包装检测机器人、产品传送链和包装工作台为研究对象,根据机器人和包装技术的发展及应用状况,选择合适的机器人,从而实现包装的自动化^[4]。

通过 NX 软件对工作站各部件进行建模和装配来更直观地看到各个部件的工作状态。传统产品所需的设计时间较长,需要通过不断修改图纸来改进设计方案,不仅造成设计成本不断增长,也造成设计周期不断延长。NX-MCD 软件可以结

合多专业的设计方案,通过对设备建模和布局及时发现设备设计的缺陷和问题。通过仿真模拟可以看到机器运作中出现的問題从而及时改进。朱金达等^[5]通过对钢筋滚丝机进行仿真模拟,及时发现机器问题从而减少机器的设计成本。任长清等^[6]将木窗成型加工机床引入虚拟仿真设计方案,为后期调试节约了设计和制造成本。陈丽兵等^[7]设计了煤矿机电设备的虚拟仿真系统,为后期设备的调试和维护提供了可操作空间。

1 工作站设备的选型

1.1 工作流程说明

工作站运作开始时,传送带将工件运送到机器人工作范围内,机器人先趋近工件然后夹取工件,机器人向工作台移动同时传送带将包装材料运送到等待区,机器人夹取包装材料。到达包装机位置,机器人优先放置包装材料,然后放置工件。机器人夹取包装封盖放到包装机上,包装机运作完成包装流程。机器人将包装好的工件转移到托盘上,机器人离开托盘完成整个工作站的运作流程。

第一作者简介:汪天齐(1998—),男,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为机器人焊接,2945929376@qq.com。

1.2 机器人选型

包装检测机器人选用 ABB 机器人,型号为 IRB1410。这是根据夹取质量和设计成本综合考虑的,该机器人的末端负载为 5 kg,工业机器人的到达距离为 1.45 m。

2 工作站相关部件的设计

2.1 传送带的设计

在运输包装杯模块中需要采用传送带进行运输,传送带表面需要放置 20 个包装杯,每个包装杯的质量为 2 kg,橡胶带的摩擦因数 μ 为 0.9,物品的质量 m 为 40 kg。

$$F_N = G = mg = 40 \times 10 = 400 \quad (1)$$

式中: F_N 为正压力, N; g 为重力加速度,取 10 N/kg。则摩擦力

$$f = \mu F_N = 0.9 \times 400 = 360 \text{ N} \quad (2)$$

2.2 电动机的选择

传送带的工作拉力为 $F = f = 360 \text{ N}$,传送带的工作速度为 $v = 2.5 \text{ mm/s}$,卷筒直径为 $D = 25 \text{ mm}$ 。

传送带所需功率 P_w (单位: kW) 为

$$P_w = \frac{Fv}{1\,000} = \frac{360 \times 2.5}{1\,000} = 0.9 \quad (3)$$

电动机所需功率 P_d (单位: kW) 为

$$P_d = \frac{P_w}{\eta} = \frac{0.9}{0.95} = 0.95 \quad (4)$$

式中: η 为传送带系统总效率。设 η_1 为联轴器的传动效率; η_2 为轴承的传动效率,则 $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0.95$ 。电动机的额定功率 P_0 为

$$P_0 = (1 \sim 1.3) P_d \quad (5)$$

可得 $P_d \leq P_0 \leq 1.3 P_d$, $0.950 \leq P_0 \leq 1.235$ 。

电动机转速 (单位: r/min) 为

$$n_w = \frac{60 \times 1\,000 v}{\pi D} = \frac{60 \times 1\,000 \times 2.5}{3.14 \times 25} = 1\,910 \quad (6)$$

根据设计要求和计算结果选择 MSMF102L1 伺服电机,具体参数如表 1 所示。

表 1 电机参数

额定功率/kW	满载转速/(r/min)
1	3 000

由表 1 可知电动机转速为 $n = 3\,000 \text{ r/min}$,电动机的功率 $P_0 = 1 \text{ kW}$;计算电动机的转矩 T_0 (单位: Nm) 为

$$T_0 = 9\,550 \frac{P_0}{n} = 3.18 \quad (7)$$

2.3 联轴器的选择

联轴器常用于连接电动机轴和传送带驱动装置轴,需要根据计算所得的数据选择合适的联轴器尺寸。由于电动机运转速度为高速,所以本文设计选择具有缓冲和吸震作用的弹性联轴器。根据电动机的转矩为 3.18 Nm,轴的直径为 25 mm,所以选择 LM1 型弹性联轴器,长度为 35 mm,直径为 25 mm。

2.4 轴的计算

根据轴工作的场所和运行效率,选择 45 钢作为轴的材料。轴最小直径 d (单位: mm) 的计算为

$$d \geq A_0 \sqrt[3]{P/n} = 8.32 \quad (8)$$

式中: A_0 一般取 120;电动机功率 $P = 1 \text{ kW}$;电动机转速 $n = 3\,000 \text{ r/min}$ 。

轴的长度为 135 mm,两侧受到支座对轴的反力,轴中间则受到传送带的力,均布载荷 $q = 2.96 \text{ N/mm}$ 。

两侧受力 $F_1 = F_2 = 200 \text{ N}$ 。

支座对轴的作用力 $\sum F = 0$ 即 $F_1 - q \cdot l + F_2 = 0$ 。

均布力 $q' = q \cdot l = 2.96 \times 135 = 400 \text{ N}$ 。

弯矩 $\sum M = 0$, 当 $l = 0 \text{ mm}$ 时, $M = 0$; 当 $l = 135 \text{ mm}$ 时 $M = 0$; 处于轴的中心处弯矩 (单位: Nm) 最大, $M = 200 \times 67.5 - \frac{2.96 \times 67.5^2}{2} = 6.75$ 。

3 基于 NX-MCD 的包装检测工作站

通过对包装检测机器人工作站的设计和布局后,需要验证工作站的合理性,这时候需要用软件对工作站进行建模和仿真,观察路径是否合理,机器人运动时是否会与其它部件发生碰撞,同时观察机器人机械抓手到达预定位置时,是否出现姿态扭曲的状况,不断地优化机器人运动路径和各个仿真序列之间的关联,确保包装检测机器人可以在合理的角度和位置完成包装流程。

3.1 模型创建和布局

根据机器人的工作半径,将传送带和包装工作台分别放置在机器人两侧,使机器人可以在传送带和工作台间完成夹取操作。图 1 为包装工作站三维布局。

3.2 工作站布局优化

本文选用的工业机器人的最大工作半径为 1.45 m,因此机器人和待夹取工件间的距离不超过机器人最大工作半径,以保证机器人运动路径的流畅性。同时也要保证机器人与工作台和传送链之间留有足够的空间,方便对机器人进行维护。

通过机器人模拟的运动轨迹来确定机器人与各部件间的距离,优化工作站布局是为了保证机器人运动转移路径处于机器人最佳工作范围内。

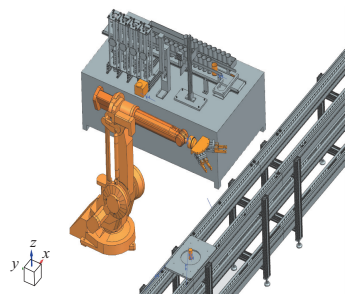


图1 工作站布局

基本机电对象		名称	类型	名称	类型
☒ 1轴	刚体	☒ 1轴	铰链副	☒ 桌子_FJ(1)	固定副
☒ 2轴	刚体	☒ 2轴_1轴	铰链副	☒ 左手右爪_6轴	滑动副
☒ 3轴	刚体	☒ 3轴_2轴	铰链副	☒ 左手右爪_FJ(1)	固定副
☒ 4轴	刚体	☒ 4轴_3轴	铰链副	☒ 左手左爪_6轴	滑动副
☒ 5轴	刚体	☒ 5轴_4轴	铰链副	☒ 左手左爪_FJ(1)	固定副
☒ 6轴	刚体	☒ 6轴_5轴	铰链副		
☒ CB(1)	碰撞体	☒ 包装台底座_FJ(1)	固定副	☒ 材料	
☒ 包装杯等待区	碰撞体	☒ 杯子_FJ(1)	固定副	☒ 耦合副	
☒ 包装台底座	刚体	☒ 侧面连接件_1轴	铰链副	☒ 传感器和执行器	
☒ 杯子	刚体	☒ 侧面连接件_3轴	铰链副	☒ 搬运路径	速度控制
☒ 杯子固定	碰撞体	☒ 传送带	固定副	☒ 传送带右	传输面
☒ 侧面连接件	刚体	☒ 底座	固定副	☒ 传送带左	传输面
☒ 传送带	刚体	☒ 短连接件_2轴	铰链副	☒ 检测台传送带	传输面
☒ 传送带框架	碰撞体	☐ 接近物块	路径约束运动副	☒ 接近物块_SC(1)	速度控制
☒ 底座	刚体	☐ 路径2	路径约束运动副	☒ 路径3	速度控制
☒ 短连接件	刚体	☐ 路径3	路径约束运动副	☒ 路径4	速度控制
☒ 盖子	刚体	☐ 路径4	路径约束运动副	☒ 路径5	速度控制
☒ 工件	刚体	☐ 路径5	路径约束运动副	☒ 路径6_SC(1)	速度控制
☒ 固定	碰撞体	☐ 路径6	路径约束运动副	☒ 路径7	速度控制
☒ 检测台传送带	碰撞体	☐ 路径7	路径约束运动副	☒ 路径8_SC(1)	速度控制
☒ 检测台固定	碰撞体	☐ 路径8	路径约束运动副	☒ 推杆_SJ(1)_PC(1)	位置控制
☒ 推杆	刚体	☒ 推杆_SJ(1)	滑动副	☒ 托盘	位置控制
☒ 托盘	刚体	☒ 托盘	滑动副	☒ 右手右爪_6轴	位置控制
☒ 右手右爪	刚体	☒ 托盘_FJ(1)	固定副	☒ 右手左爪_6轴	位置控制
☒ 右手左爪	刚体	☒ 右手右爪_6轴	滑动副	☒ 左手右爪_6轴	位置控制
☒ 长连接件	刚体	☒ 右手右爪_FJ(1)	固定副	☒ 左手左爪_6轴	位置控制
☒ 桌子	刚体	☒ 右手左爪_6轴	滑动副		
☒ 左手右爪	刚体	☒ 右手左爪_FJ(1)	固定副	☒ 运行时行为	
				☒ 信号	
				☒ 信号连接	

图2 机电属性定义

3.4 路径规划

路径规划为机器人运动的核心,根据设计工作站的运动流程,需要设计7条运动路径,分别为接近工件、转移工件、夹取包装、放置包装、放置工件、夹取包装顶盖和将包装完的工件放回原位^[11],路径设置如图3所示。

3.3 机电属性定义

工作站布局完成后需要对各部件进行机电属性定义,对所有参与仿真的零件进行刚体定义,对于需要移动的零件则需要定义为碰撞体^[8]。运动副的控制需要根据各部件的运动模式来进行相关的定义,如与地面接触的部件需要定义为固定副,机器人各关节运动需要定义为铰链副^[9]。传感器的定义则用于传送带和机器人运动速度的设置^[10]。经过上述定义就完成了包装工作站的机电属性定义,如图2所示。

3.5 仿真序列设置

仿真序列设置是整个工作站流畅运行的保障,仿真序列的运行是以时间为基准,通过对每个部件的开始时间进行调整可以保证多部件的协同运行,设置持续时间则可以让部件停留在预定的位置^[12-14],工作站的仿真序列设置如图4所示。

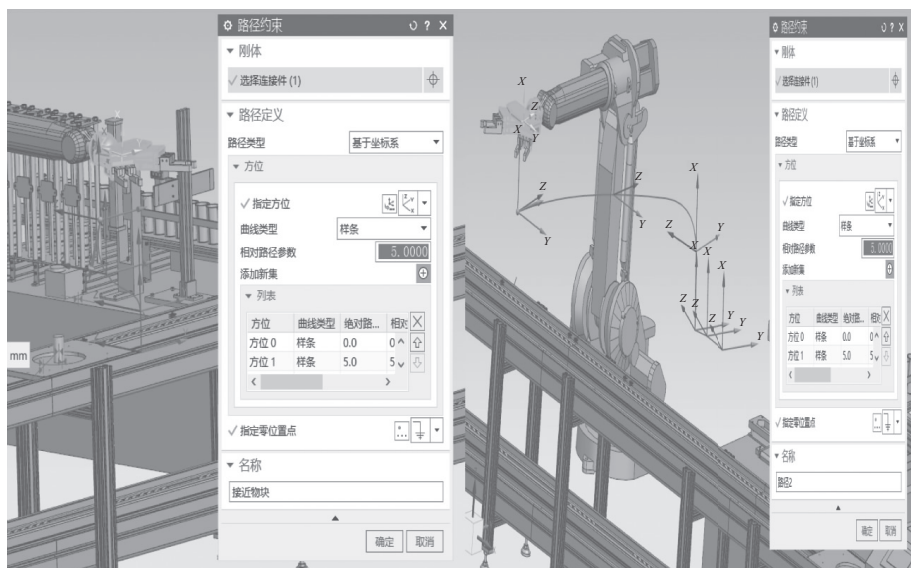


图3 路径设置

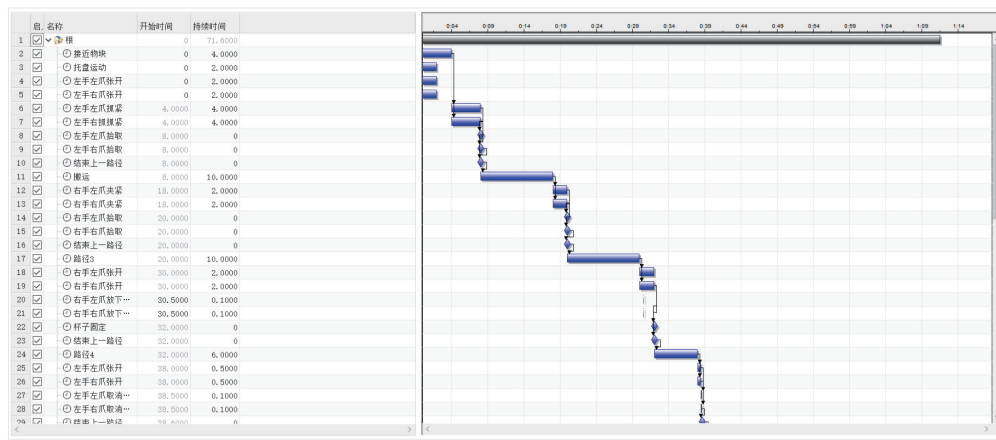


图4 仿真序列设置

4 结语

本文设计了机器人包装工作站方案从而取代人工包装,有效地提高了包装的效率。通过NX-MCD软件可以直观地看到机器人的工作范围,从而调整工作站各部件的布局,减少设备安装后的调整次数^[15-16]。通过路径约束运动副设计出包装流程运动的路径,仿真序列规划包装过程中每个部件运动的顺序和所需要的时间,确保机器人在仿真过程中可以完成包装所需要的每一步操作,同时观察和调整仿真过程中出现的碰撞现象,确保机器人包装工作站的平稳运行。NX-MCD软件可以为产品的设计运行提供依据,通过模拟设备运行来发现设计问题减少研发成本^[17-20]。

参考文献:

- [1] 李宁. 食品包装机械的自动化技术发展与管理[J]. 核农学报, 2022, 36(5): 1083.
- [2] 李磊磊. 工业机器人在包装行业的应用研究[J]. 上海包装, 2020(10): 10-12.
- [3] 刘朝岸. 基于工业机器人的纸卷自动包装系统设计与仿真[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2020.
- [4] 陈柏, 叶可, 吴洪涛. “机器人+”背景下工业机器人技术创新发展方向[J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(2): 1-3.
- [5] 朱金达, 路鑫彬, 张嘉钰. 基于NX MCD的钢筋滚丝机的虚拟调试系统[J]. 机床与液压, 2023, 51(12): 104-111.
- [6] 任长清, 张佳林, 丁星尘, 等. 基于NX MCD的木窗成型加工机床机电概念设计与虚拟调试[J]. 林业机械与木工设备, 2023, 51(3): 81-88.
- [7] 陈丽兵, 曹雪祥, 杨晓冬. 基于MCD的煤矿机电设备虚

- 拟仿真系统设计[J]. 煤矿机电, 2022, 43(5): 16-21.
- [8] 王有新, 蔡玉奎, 辛倩倩, 等. 基于 NX MCD 的数字孪生虚拟仿真系统实验教学研究与实践[J]. 装备制造技术, 2023(10): 80-85.
- [9] 黎玲萍, 赵永信, 陈勇. 基于 NX MCD 的平面口罩焊接组虚拟调试[J]. 装备制造技术, 2023(10): 160-162.
- [10] 罗锋. 基于数字孪生的焊接机器人路径规划研究[D]. 成都: 西华大学, 2023.
- [11] 刘和彬. 基于 NX MCD 的五轴加工中心柔性制造系统加工仿真设计[J]. 中国机械, 2023(5): 2-10.
- [12] 娄世起, 熊旭, 叶潘, 等. 码垛机器人在包装行业的应用前景探讨[J]. 中国包装, 2022, 42(7): 22-26.
- [13] 周钦河, 黄诚, 李儒杰. 基于 NX MCD 的蓝牙耳机充电盒装配自动线数字孪生体设计研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(35): 36-39.
- [14] 郭联金, 吴冠杰, 陈焕杰, 等. 基于 NX MCD 的物料装配及分拣设备设计[J]. 机械, 2022, 49(9): 68-75.
- [15] 蔡文站, 田建艳, 王书宇, 等. 基于 NX MCD 与 TIA 的机器人打磨联合虚拟调试研究[J]. 现代制造工程, 2022(7): 37-42, 120.
- [16] 杨涛, 杨晓华, 欧彦江, 等. 基于 NX MCD 的搬运工业机器人运动仿真设计及分析[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(12): 66-68.
- [17] 卢旭锦. 基于 NX MCD 的工业机器人工作协同性与生产效率提升研究[J]. 自动化应用, 2024(23): 21-24.
- [18] 刘锦杭. 基于 NX-MCD 的自动装配分拣设备虚拟调试仿真实验[J]. 机械工程与自动化, 2024(6): 86-89.
- [19] 林泓宇, 卢旭锦. 基于 NX-MCD 的物料分拣生产线虚拟仿真设计及调试[J]. 机械工程与自动化, 2024(6): 96-98.
- [20] 凌旭, 邹冲, 戴俊良, 等. 基于 NX-MCD 的物料分拣装置数字孪生系统设计[J]. 中国机械, 2024(31): 16-21.

收稿日期: 2023-10-09

(上接第 195 页)

加速度曲线连续平滑, 极大地减小了机器人启动时末端夹具受到的冲击, 提高了机器人启动的稳定性和运行效率。

参考文献:

- [1] 何成刚, 朱润智, 黄挺博, 等. 工业机器人轨迹规划与优化研究进展[J]. 现代制造工程, 2023(7): 150-159.
- [2] 龙樟, 李显涛, 帅涛, 等. 工业机器人轨迹规划研究现状综述[J]. 机械科学与技术, 2021, 40(6): 853-862.
- [3] 董理, 杨东, 鹿建森. 工业机器人轨迹规划方法综述[J]. 控制工程, 2022, 29(12): 2365-2374.
- [4] 乔心州, 龚莉, 刘鹏. 柔索驱动拣研机器人抓取轨迹规划研究[J]. 机械科学与技术, 2023, 42(12): 1986-1995.
- [5] 赵云, 王泽飞, 王晓光, 等. 伺服驱动系统高增益速度环的振动抑制方法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 433-440.
- [6] 张相胜, 朱道坤, 潘丰. 数控加工中 S 型曲线柔性加减速控制算法研究[J]. 制造业自动化, 2020, 42(12): 68-73, 124.
- [7] 韩妮. 基于 S 型加减速的六关节机器人速度平滑控制算法[J]. 电子设计工程, 2021, 29(20): 6-9, 14.
- [8] 李薏材, 赵东标, 冯胜利. 一种 S 型加减速组合的速度规划算法[J]. 机械科学与技术, 2024, 43(1): 54-63.
- [9] 李诣坤, 韦思亮. 无人仓多搬运机器人协同作业轨迹自动控制研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 115-121.
- [10] 游达章, 杨京, 张业鹏, 等. 一种改进四次 S 曲线的加减速算法研究[J]. 机床与液压, 2021, 49(2): 31-35.
- [11] 刘贝贝, 袁亮, 孔庆博, 等. 6 自由度工业机器人运动轨迹优化方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(2): 11-15.
- [12] 白建文. 机器人柔性搬运系统的规划与应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2022, 6(8): 106-108, 179.
- [13] 樊依圣, 徐鸣, 刘文威, 等. 基于半实物仿真的工业机器人末端振动分析[J]. 自动化与信息工程, 2022, 43(1): 25-32.
- [14] 常超. 基于 PLC 的单板搬运机械手的设计与分析[D]. 临沂: 临沂大学, 2023.
- [15] 张江辰. 四轴冲压上下料机器人控制系统设计[D]. 青岛: 青岛大学, 2022.

收稿日期: 2023-08-23